

УДК 621.793.72: 620.193.5

С. В. Невежин, В. С. Верхорубов

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

С. Д. Неулыбин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ПРИ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОМ НАПЫЛЕНИИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Исследована взаимосвязь фазового состава, микроструктуры, физико-механических и служебных свойств плазменных и металлизационных покрытий из порошковых проволок системы легирования Fe-C-Cr-Ti-Al. Установлено, что абразивная износостойкость покрытий, полученных при распылении экономнолегированных порошковых проволок, в несколько раз превышает износостойкость покрытий из сплошных проволок системы легирования Fe-C-Cr.

Ключевые слова: дуговая металлизация, плазменно-дуговое напыление, порошковая проволока, микротвердость и износостойкость покрытий.

S. V. Nevezhin, V. S. Verkhovubov, D. S. Neulybin

EFFICIENCY OF PLASMA- AND ARC SPRAYING WEAR-RESISTANT COATINGS FROM CORED WIRE

A correlation between the phase composition, microstructure, mechanical and service properties of plasma and arc spraying coatings from cored wires alloying system Fe-C-Cr-Ti-Al was investigated. It was found that the abrasive wear resistance of coatings obtained by spraying of economically alloyed cored wires in several times higher than the wear resistance of coatings from solid wire alloying system Fe-C-Cr.

Keywords: arc spraying, plasma-arc spraying, cored wire, microhardness and wear resistance of coatings.

В базовых отраслях промышленности России, таких как энергетика, металлургия и машиностроение, велики потери от износа крупногабаритных деталей оборудования. Так на тепловых электростанциях, работающих на угле и вырабатывающих около трети потребляемой электроэнергии, годовые затраты на восстановление деталей оборудования составляют \$ 1,2 млрд [1].

Во многих областях применения методы газотермического напыления позволяют выполнить работы по повышению ресурса деталей значительно эффективнее по критериям надежности, технологичности и экологичности, чем альтернативные способы упрочнения [2]. Стоимость материалов для напыления составляет 50–80 % от затрат на получение покрытий, при этом методы распыления проволоки отличаются меньшими удельными затратами вследствие большей производительности и коэффициента использования материала, в сравнении с методами распыления порошка при одинаковом уровне качества во многих применениях [3]. Поэтому в области газотермического напыления актуальна задача разработки экономнолегированных материалов для более дешевых методов напыления при повышении характеристик покрытий.

С этой точки зрения, напыление деталей, подверженных различным видам изнашивания, целесообразно производить экономнолегированными материалами со структурой, удовлетворяющей принципу метастабильности аустенита [4]. Диссипация подводимой к изнашиваемой поверхности энергии, наиболее эффективно производится микрогетерогенной структурой, в которой наряду с карбидами присутствует метастабильный аустенит, превращающийся в дисперсный мартенсит в процессе эксплуатации [5].

На основе указанного принципа разработаны экономнолегированные проволоки для дуговой металлизации (ДМ) износостойких покрытий [6], при этом исследование структуры, физико-механических и служебных свойств покрытий при плазменно-дуговом напылении в варианте с токоведущей проволокой-анодом [7] не проводились.

Цель работы – исследовать особенности структуры, физико-механических и служебных свойств плазменных покрытий из проволок экономной системы легирования Fe-C-Cr-Ti-Al.

В качестве основы для нанесения покрытий были использованы пластины из стали 40 по ГОСТ 1050–88, размерами 240×70×10 мм. Напыляемый материал – порошковая проволока (ПП) марки ППМ-6, Ø 1,6 мм, состава 150X8T2Ю.

Перед нанесением покрытия производилась струйно-абразивная обработка (САО) поверхности пластин. Параметры обработки представлены в табл. 1.

Плазменно-дуговое напыление (ПДН) покрытий толщиной 1,0–1,2 мм осуществлялась на оборудовании кафедры «СП и ТКМ» ПНИПУ [8] на режимах, представленных в табл. 2.

Таблица 1

Параметры режима САО

Абразив	Дистанция, мм	Давление, МПа	Угол атаки, град.
ДЧК 1-1,2 ГОСТ 11964-81	150	0,6	70-90

Таблица 2

Параметры режима ПДН

Ток рабочей / дежурной дуги, А	Диаметр плазмообр. / стабилизир. сопла, мм	Расход плазмообр. / стабилизир. газа (аргон), л/мин	Расстояние от сопла до проволоки, мм	Дистанция напыления, мм
150 / 30	3 / 4	5,5 / 5,5	5	100

Из пластин с покрытиями вырезали образцы размерами – 10×10×10 мм с помощью электроэрозионного станка AGIE CHARMILLES CUT 20. Для исследования структуры, фазового состава и выполнения микрохимического анализа из указанных образцов готовили поперечные металлографические шлифы с использованием пасты ГОИ № 2 и алмазной пасты НОМ 60/40 на полировальном станке Laborol. Для травления шлифов использовали трехпроцентный раствор азотной кислоты в спирте.

Структуру и микрохимический состав покрытий изучали на сканирующем электронном микроскопе VEGA II XMU с волнодисперсионным INCA Wave 700 и энергодисперсионным INCA Energy 450XT микроанализаторами. Фазовый состав покрытий определяли на рентгеновском дифрактометре SHIMADZU XRD-7000 в Cr- α излучении.

Измерение микротвердости покрытий проводили на микротвердомере Shimadzu HNV-G21DT согласно ГОСТ 2999–75 с применением индентора Виккерса. Распределение микротвердость по толщине покрытий определяли при нагрузках 0,5 Н (50 гс) и 3 Н (300 гс), скорости нагружения пирамидкой Виккерса 40 мкм/с и выдержке под нагрузкой 15 с.

Износостойкость определяли для поверхности образцов покрытий с размерами 10х10 мм путем совершения возвратно-поступательных движений по шлифовальной бумаге на основе электрокорунда. Путь трения образца за одно испытание при скорости движения 0,158 м/с устанавливался равным 60 м. Нормальная удельная нагрузка на образец устанавливалась равной 10 кг, удельная нагрузка 1 МПа, величина поперечного смещения шлифовальной бумаги на один двойной ход образца - равной 0,0012 м. Показатель износостойкости покрытий, равный отношению изменений массы эталона и образца, определялся по результатам трех испытаний.

ПДН-покрытия из ПП имеют слоистую структуру, состоящую из сильно деформированных зерен – крупных ламелей, рис. 1., их толщина составляет 1960 мкм, переходная к основе зона имеет небольшую толщину 15-20 мкм, что характеризует хорошее сплавление покрытия с подложкой.

Основной фазой покрытий является твердый раствор легирующих элементов на основе железа, в котором равномерно распределены карбида хрома и в малом количестве оксиды алюминия, хрома и кремния. Средний химический состав ПДН-покрытий отличается от состава ПП, табл. 3. Отличие заключается в уменьшении содержания алюминия, титана и хрома. Вместе с тем, ПДН-покрытия содержат малое количество кислорода, что может быть связано как с проведением процесса плавления и диспергирования металла ПП в атмосфере аргона, так и с меньшей удельной поверхностью капель распыляемого металла ПП большей дисперсности и снижением степени их окисления [9].

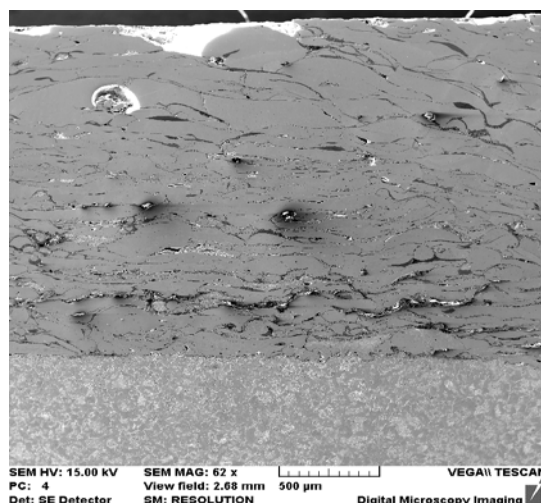


Рис. 1. Микроструктура поперечного сечения ПДН-покрытий

Таблица 3

Химический состав ПП и ПДН-покрытий

Элемент	O	Al	Si	Ti	Cr	Fe
ПП*	-	0,73	0,15	1,46	9,5	основа
ПДН	3,93	0,57	0,29	0,71	4,18	87,72

*После переплава ПП в аргоне в медный кристаллизатор

На рис. 2 представлено изменение микротвердости по толщине ПДН-покрытий.

Видно, что покрытия характеризуются значительной неравномерностью микротвердости, что обусловлено их слоистой структурой с наличием фаз различной твердости и несплошностей. Микротвердость по толщине ПДН-покрытий, измеренная при разных нагрузках 50 и 300 гс, имеет близкие значения, что указывает на однородный характер их структуры.

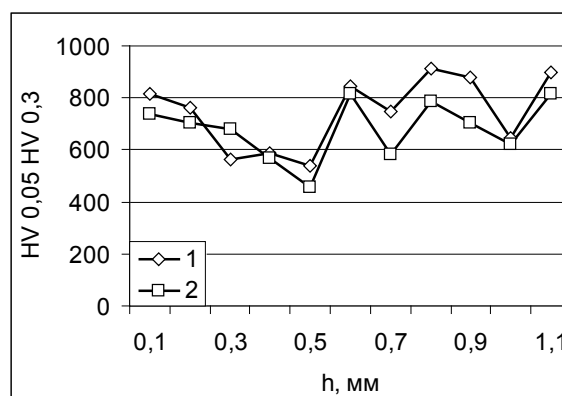


Рис. 2. Изменение микротвердости по толщине ПДН-покрытий: при нагрузке на индентор 50гс (1) и 300 гс (2)

Износостойкость ПДН-покрытий в 1,6 раза выше, чем у ДМ-покрытий из ПП экономной системы легирования Fe-C-Cr-Ti-Al и более чем в 3 раза превышает износостойкость покрытий из сплошных проволок (СП) системы легирования Fe-C-Cr, рис. 3 [10].

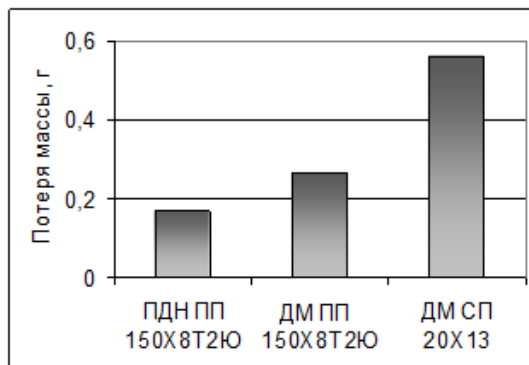


Рис. 3. Износостойкость покрытий

Рентгеноструктурный анализ фазового состава ПДН-покрытий из ПП экономной системы легирования Fe-C-Cr-Ti-Al до испытания на абразивное изнашивание показал, что металлическая основа покрытия состоит из 40 % остаточного аустенита и 60 % мартенсита. После изнашивания количество аустенита уменьшается, а мартенсита - увеличивается, составляя 20 и 80% соответственно. Таким образом, остаточный аустенит, присутствующий в структуре рабочей поверхности покрытия в небольшом количестве метастабилен и превращается в мартенсит деформации в процессе изнашивания [11].

Выводы:

1. Установлено, что основной фазой покрытий, нанесенных плазменно-дуговым напылением из порошковых проволок экономной системы легирования Fe-C-Cr-Ti-Al, является твердый раствор на основе железа в котором равномерно распределены упрочняющие фазы карбидов, на границах и внутри структурных составляющих обнаружены в малом количестве оксиды различного состава. Покрытия имеют однородную структуру с крупными ламелями, а также содержат малое количество кислорода, что, вероятно, связано с проведением процесса плавления и диспергирования проволок в

атмосфере аргона или с малой удельной поверхностью капель распыляемого металла большой дисперсности и снижением степени их окисления.

2. Микротвердость по толщине плазменно-дуговых покрытий, измеренная при разных нагрузках 50 и 300 гс, имеет близкие значения, что указывает на однородный характер их структуры. Высокая микротвердость покрытий может быть обусловлена их однородной структурой твердого раствора с равномерно распределенными в ней включениями упрочняющих фаз, что подтверждает результаты микрохимического анализа покрытий.

3. Износостойкость плазменно-дуговых покрытий в 1,6 раза выше, чем у металлизационных покрытий из порошковых проволок экономной системы легирования Fe-C-Cr-Ti-Al и более чем в 3 раза превышает износостойкость покрытий из сплошных проволок системы легирования Fe-C-Cr. Это, вероятно, связано с тем, что плазменно-дуговые покрытия имеют, в части металлических фрагментов, мартенситную структуру с достаточным количеством остаточного метастабильного аустенита, превращающегося в мартенсит деформации в процессе эксплуатации, и обеспечивающего высокую износостойкость при абразивном изнашивании.

Список литературы

1. Kakaras E. Current Situation of Coal fired Power Plants in Russia Federation and the Implementation Options of Clean Coal Technologies // 5th European Conference on Coal Research & Its Applications. 2004. Pp. 263–268.
2. Dorfman M. Upcoming global opportunities and challenges in the thermal spray industry // ITSC 2012. ASM International. 2012. Pp. 1463–1466.
3. Branagan D., Breitsameter M., Meacham B., and Belashchenko V. High-Performance Nanoscale Composite Coatings for Boiler Applications // Journal of Thermal Spray Technology. 2005. 14(2). Pp. 196–204.
4. Филиппов М. А., Филиппенков А. А., Плотников Г. Н. Износостойкие стали для отливок. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2009. 358 с.
5. Korobov Yu., Filippov M., Belozertsev A., Shymiakov V., Nevezhin S. Metastable austenite type Core Wire for Arc Spraying - modeling of heat transfer in end face and coating structure analysis // ITSC 2010. ASM International. 2010. Pp. 84–89.

6. Структура и износостойкость напыленных покрытий системы Fe-Cr-C-Ti с метастабильным аустенитом / Ю. С. Коробов [и др.] // Инновации в материаловедении и металлургии : материалы III Междунар. интерактив. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. – С. 100–104.
7. Бобров Г. В., Ильин А. А. Нанесение неорганических покрытий. – М. : Интермет инжиниринг, 2004. – 624 с.
8. Бороненков В. Н., Коробов Ю. С. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2012. – 268 с.
9. Щицын Ю. Д. Плазменные технологии в сварочном производстве. Ч. 1. – Пермь : Перм. гос. техн. ун-т, 2004. – 73 с.
10. Фазовый состав и абразивная износостойкость напыленных покрытий системы Fe-Cr-C-Ti с метастабильным аустенитом / Ю. С. Коробов [и др.] // Проблемы машиноведения: трибология – машиностроению : труды всероссийской научно-технической конференции с участием иностранных специалистов. – М. : Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, 2012. – С. 199–203.
11. Korobov Yu., Filippov M., Makarov A., Zabolotski I., Khudorozhkova Yu., Rimer G. Comparison of metastable austenite type structure of Fe-based coatings produced by Arc Spraying and Surfacing // ITSC 2014. ASM International. 2014. Pp. 874-879.